

자동차용 3상 모터 드라이브 IC

Three-phase Motor Drive IC for Automotive Applications

정진수¹, 박시홍^{1,a}

(Jin-Soo Jung¹ and Shihong Park^{1,a})

Abstract

This paper presents a motor drive IC for automotive applications. The drive IC is dedicated to control and drive external MOSFETs which directly drive 3-phase motor with a high current. In case of driving high-side power switches, the bootstrap topology is widely used. however, it requires three bootstrap diode and three capacitor respectively. And it needs a minimum charging time to maintain high-side voltage. The motor drive IC uses a charge-pump circuit for all three high-side voltage with various protection schemes for automotive applications.

Key Words : Three phase motor drive, Charge-pump

1. 서론

전세계 자동차에 사용되는 전자부품의 비중이 2005년 20 % 수준에서 점차 증가하여 2015년 40 %까지 증가할 전망이고, 이 중에서 반도체가 차지하는 비중이 30 % 수준에 도달할 것이다. 특히 자동차의 모터는 난방, 환기 및 에어컨 컨디셔너, 윈도우 및 미러 어플리케이션 등을 포함하여 다양한 방면에서 사용된다. 이 모터를 컨트롤하는 반도체는 차량 공간과 사용 환경의 제한성으로 인해 일반적인 상황에서의 시스템과는 달리 더욱 높은 성능, 작은부피, 작동 가능한 환경온도 등을 요구하게 된다.

모터를 컨트롤하기 위해서는 마이크로 프로세서를 이용하는 방법이 주로 사용된다. 이때 마이크로 프로세서의 출력 전류가 20 mA로 작기 때문에 게이트 구동 IC를 사용하여 MOSFET을 구동하게 된다.

3상 모터 구동회로에서 High-side 전원은 일반적으로 bootstrap 방식이 사용되어 각 상마다 bootstrap

용 다이오드와 capacitor가 필요하다. 그 결과 외부 부품수가 증가하여 제조원가가 상승하고 공간적인 제약이 있다. 또한 capacitor를 충전하기 위해서 low-side 스위치를 일정 시간 후에는 반드시 스위칭 해줘야 하는 단점을 가지고 있다[1,2].

본 논문에서는 bootstrap 방식이 아닌 high-side 쪽에 하나의 charge-pump 회로를 사용하여 3상 출력의 스위칭동작과는 독립적으로 전원을 공급하고, capacitor의 수를 줄일 수 있는 3상 motor 구동용 IC를 설계, 제작 및 검증하였다.

2. 본론

2.1 3-phase motor control

그림 1은 drive IC에 의한 3상 모터 구동회로의 개념도이다. 입력부로 마이크로 프로세서, 구동부인 drive IC, 출력부로 디스크리트 소자인 전력소자로 구성된다.

2.2 구동 IC의 동작과 구성

입력전압이 가변적일 수 있는 자동차에서 사용되는 IC는 공급전압의 변동에도 출력을 일정하게 유지 해야 한다. 이 기능은 2개의 charge-pump가 인가 전압의 변동이 있을 경우에도 일정하게 output

1. 단국대학교 전자전기공학과

(경기도 용인시 수지구 죽전동 126)

a. Corresponding Author : shihong@dku.edu

접수일자 : 2009. 6. 16

심사완료 : 2009. 6. 23

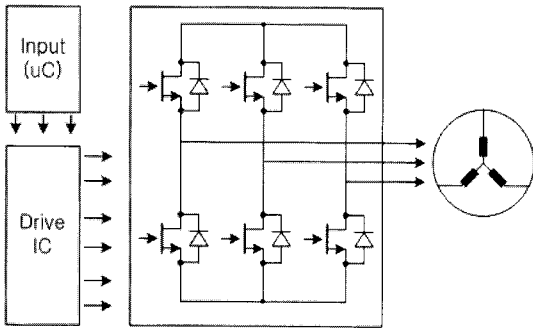


그림 1. 3상 모터 구동 회로 개념도.
Fig. 1. A concept of 3 phase motor drive IC.

block 에 전압을 공급한다. 정상동작은 12 V에서 이루어지지만 $5.6 V < V_s < 12 V$ 일 경우 voltage doubler 동작으로 공급전압을 승압 후 regulation 동작을 하고, $V_s > 20 V$ 의 상황에서는 output block 으로 공급하는 출력전압을 일정하게 regulation 하는 동작을 하게 된다.

구동 IC는 전력소자를 구동하기 위해 sourcing, sinking 전류를 최대 1.5 A / 1.5 A로 출력할 수 있으며, 단락현상을 방지하는 deadtime 블록은 외부의 추가적인 저항을 통해 조절할 수 있다.

그림 2는 구동 IC의 블록도를 나타낸 그림이다. 각 블록은 기준 전압을 공급하는 reference 블록과 output 블록, charge-pump 블록, IC의 상태를 모니터 하고 조절하는 control Logic 블록, 회로를 보호하는 protection 블록으로 구성된다.

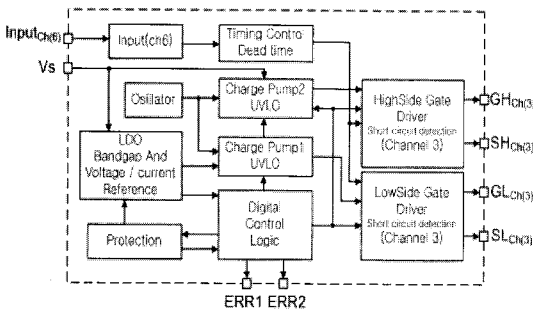


그림 2. Motor drive IC 블록도.
Fig. 2. Block diagram of motor drive IC.

2.2.1 Reference block

LDO (Low Drop Output), Bandgap 블록으로 구성되어 있으며, 온도에 둔감한 전류와 전압을 공급한다.

2.2.2 Charge-pump block

Oscillator 와 2개의 charge-pump로 구성되며, oscillator는 55 kHz의 구형파를 출력한다.

Charge-pump는 입력 전압을 regulation 및 승압 동작을 한다. 전원 인가시 SW1과 SW3, SW2와 SW4가 교대로 pumping 동작을 해서 SC1 (Storage Capacitor), SC2 의 전압을 상승 시킨다. Pumping 동작에 의한 전압의 상승시간이 필요하게 되고, SC1은 low-side driver와 charge-pump2에 전원을 공급하며, SC2는 high-side driver에 전원을 공급한다[3-5].

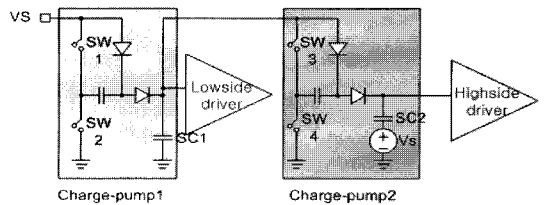


그림 3. Charge-pump 구조.
Fig. 3. Structure of charge-pump.

2.2.3 Digital logic block

전체 IC의 동작을 On / Off (sleep mode) 조절하거나 output block의 On / off 를 조절하는 기능을 하며, IC의 상태를 ERR pin을 통해 외부에 알려주는 기능을 한다. 표 1은 ERR pin으로 외부에 출력하는 IC의 protection conditions을 나타내고 있다. Undervoltage, Overvoltage, Shortcircuit 상황에서는 외부 전력소자를 차단하는 기능을 한다.

표 1. 상태에 따른 ERR pin.

Table 1. ERR pin conditions.

ERR1	ERR2	Conditions
Low	Low	No errors
Low	High	Overcurrent detect
		Shortcircuit protection
High	Low	Overtemperature warning
		Overvoltage shut down
High	High	Undervoltage lock out

2.2.4 Protection block

보호회로는 5개의 기능으로 구성 되어있다. Charge-pump에 의해 충전되는 storage capacitor

의 전압을 sensing 해서 일정전압이하에서는 IC를 차단하는 UVLO (Under voltage lock out) 기능과 전원 전압이 30 V 이상일 시에 IC를 차단하는 OVSD(Over voltage shut down), 외부 전력소자의 drain-source간의 전압을 sensing 하여 외부에서 달아준 저항으로 생성된 threshold 전압과 비교, 전력소자의 단락을 보호하는 Shortcircuit protection 기능이 있다. 또한 opamp와 sensing 저항을 이용한 Overcurrent detect 기능, BJT의 특성을 이용해서 175 °C 이상의 온도에서 IC를 차단하는 Overtemperature 보호기능이 있다[5,6].

2.2.5 Output block

Shoot Through 방지를 위한 time control 블록과 deadtime 블록, 각상의 동작을 logic 신호로 외부에 알려주는 phase voltage feedback 블록이 있다. 특히 deadtime 블록은 외부의 핀으로 저항(Rdt)을 연결하여 delay를 조절할 수 있다.

Input signal과 charge-pump에 의해 공급된 전압으로 최소 11 V이상, sinking / sourcing current를 최대 1.5 A /1.5 A의 출력으로 전력소자를 구동한다[7].

3. 실험 결과 및 검토

3.1 테스트 보드 구성

그림 4는 제작된 IC의 layout 과 test하기 위한 PCB 기판이다. Layout은 4380u * 4450u의 크기이며 48 QFN (7 * 7)의 패키지로 제작 되었다. 외부 전력소자는 IRF사의 IRF 540 (n-channel power MOSFET)을 사용하였으며, capacitor, 저항, 스위치등 으로 구성하였다.

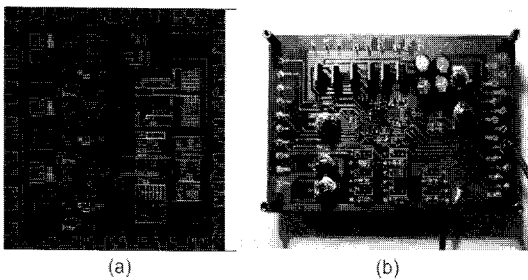


그림 4. 제작된 IC의 (a)Layout (b) PCB 테스트 보드.

Fig. 4. (a) IC Layout (b) PCB test board.

3.2 테스트 결과

3.2.1 Charge pump 동작

그림 5는 charge-pump의 동작을 테스트한 파형이다. charge-pump output은 현재 storage capacitor2의 전압을 나타내고 있다. 시스템에 입력전압이 들어온 후 6.4 ms 지난 시점 즉 capacitor의 전압이 일정전압 이상 상승한 후에 output block의 switching 동작을 확인할 수 있었다.

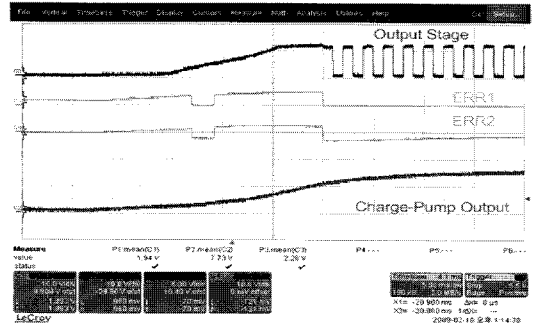


그림 5. Charge-pump 출력 파형.

Fig. 5. Test result of charge-pump operation.

3.2.2 Output block 동작

테스트 조건은 입력 전원 12 V, 1 kHz 주파수를 가진 3상 입력을 인가하였다.

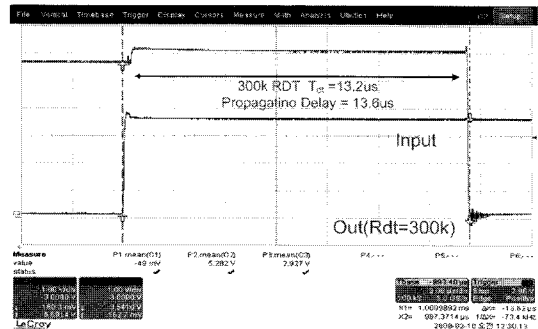


그림 6. Deadtime (Rdt=300 kΩ) 의한 출력 파형.

Fig. 6. Test result of deadtime (Rdt=300 kΩ).

그림 6은 output block의 전압 출력파형을 보여 주고 있다. 단일 출력전압 파형으로 input 대비 출력의 deadtime을 확인하였다. Deadtime (RDT =300 kΩ) = 13.2 us 상승시 115 ns, 하강시 105 ns

의 파형을 볼수 있으며 설계치 대비 5 % 내의 오차를 확인 하였다.

전체 propagation delay = 13.6 us 를 나타낸다.

그림 7은 3상 입력에 대한 통해 각 상의 전압 출력 파형을 나타내고 있다.

그림 8은 3상 입력에 대한 3상 20 Ω load를 사용하였을때 전류를 측정한 파형이다. 최대 250 mA의 출력 전류를 나타내고 있다.

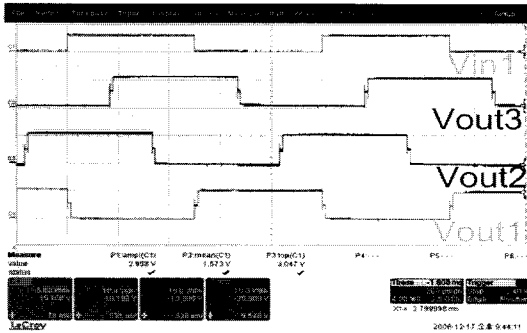


그림 7. 3상 출력 전압 파형.

Fig. 7. The output voltage waveforms.

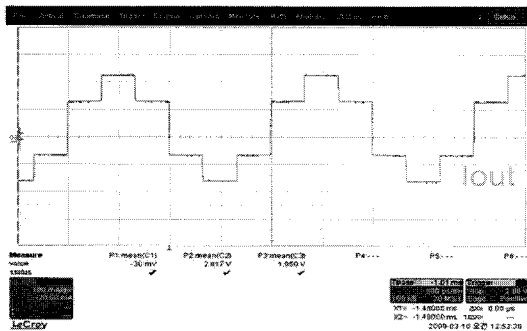


그림 8. 출력 전류 파형.

Fig. 8. An output current waveform.

4. 결론

본 논문에서는 자동차 application 이라는 특정 상황을 고려하여 bootstrap 방식이 아닌 charge

pump 방식의 전원부와 여러 가지 상황에 대비할 수 있는 보호 회로를 가진 구동 IC를 제작 테스트 하였다. Vs에 따른 charge-pump의 동작과 output에 의한 외부 전력소자의 switching 특성을 확인한 결과 이상 없이 동작함을 확인하였다.

설계는 동부하이텍의 0.35 um BD350BA 공정을 사용하였다.

감사의 글

본 연구는 단국대학교 대학원 연구보조장학금의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] I. R. Corp., "HV floating MOS-gate drive ICs", IR Application Note AN-978.
- [2] Park S., and T. M. Jahns, "A self-boost charge pump topology for a gate drive high-side power supply", IEEE Trans. Power Elec. 2, Vol. 20 p. 300, 2005.
- [3] G. F. W. Khoo, D. R. H. Carter, and R. A. McMahon, "Analysis of a charge pump power supply with a floating voltage referenc", IEEE Trans. Circuits Syst., Vol. 47, No. 10, p. 1494, 2000.
- [4] G. Di Cataldo and G. Palumbo, "Double and triple charge pump for power IC : Dynamic models which take parasitic effects into account", IEEE Trans. Circuits Syst. I, Vol. 40, p. 92, 1993.
- [5] "Application Note : TLE6280GP - A bridge driver IC for High current 3 phase motor drives in 12 and 24 V power nets", Infineon, 2002.
- [6] Y. Han, J. Chen, and J. Liang, "Summary of HV power ICs protecting circuit design", in Conf. Rec. Solid-State and Integrated Circuit Technology, Vol. 1, p. 135, 2001.
- [7] J. Dunn, "Determining MOSFET Driver Needs for Motor Drive Application", Microchip. tec. inc application Note AN-898.